

Introduction

Considérer la physique et la chimie avant toute chose comme des sciences naturelles, au même titre que la géophysique ou la biologie, est un point de vue auquel je suis très sensible. Dans cette optique, la Nature a toujours raison : les théories physiques reposent sur les phénomènes naturels. La modélisation des phénomènes est alors la conséquence de notre incapacité à les interpréter dans leur complexité, et l'expérimentation devient une mise en scène de la Nature.

En classe, ce point de vue conduit à choisir des exemples et des exercices plus proches du vivant ou de la vie quotidienne et à expliciter l'étape de modélisation. La perte de temps due à cette démarche est à mon sens largement compensée par une vision plus humble et plus construite des sciences physiques, par opposition à une approche de la physique en terme de lois de la Nature.

Avec une telle importance donnée aux faits naturels, il m'a semblé crucial d'étudier les situations dans lesquelles les élèves rejettent ces faits pendant l'observation ou bien après coup.

Ce mémoire présente dans une première partie quelques cas de rejet que j'ai personnellement constatés en classe ou que des collègues de sciences physiques et d'autres disciplines m'ont communiqués. Des explications ponctuelles de l'enseignant sont données et des interprétations plus générales sont tentées. La définition d'un fait naturel est précisée, ainsi que le lien entre les faits et la construction des théories physiques. L'explication du rejet de l'élève par la persistance de ses anciennes conceptions est complexe et demanderait une étude spécifique. Elle sort donc du cadre de ce mémoire.

Dans une deuxième partie, je regarde quelques situations où l'enseignant est lui aussi amené à s'arranger avec les faits naturels, et ce qui peut justifier une telle démarche. Dans la troisième et dernière partie, je propose quelques éléments pour remédier à ce problème de rejet des faits naturels par les élèves, dont certains ont été testés dans la classe que j'ai en responsabilité.

I – Vous me dites que c'est du jaune, mais il est un peu marron, non?

Le rejet des faits naturels par les élèves

Dans cette partie, sont donnés des exemples de faits niés par les élèves dans des circonstances diverses. Les exemples cités viennent de situations vécues par des collègues dans leurs classes, et m'ont été communiqués en réponse à un questionnaire émis sur la liste de diffusion "physchim" de l'Education Nationale et distribué dans plusieurs collèges et lycées. Dans chaque situation, les éléments d'explication des collègues sont donnés, lorsqu'ils m'ont été communiqués par écrit ou oralement.

Les enseignants contactés enseignent en physique-chimie (PC), en sciences de la vie et de la Terre (SVT), en histoire et géographie (HG), en sciences économiques et sociales (SES).

L'ensemble des questionnaires est joint en Annexe.

I – 1 Quelques exemples

I – 1 – a Nécessité d'une catégorisation

Lors du dépouillement des réponses, il m'est apparu que les éléments rejetés ne se situaient pas tous sur le même plan et que la définition même de fait naturel posait problème. Ce point sera abordé en détail tout au long de ce mémoire, notamment au paragraphe I – 3. J'ai défini un peu arbitrairement trois catégories : les faits bruts, constatables directement par les sens ou par un procédé simple, les résultats d'études statistiques fiables, et les éléments des théories avérées.

I – 1 – b Faits bruts

La majorité des enseignants contactés trouvent le phénomène de rejet des faits bruts plutôt rare, mais il y a quand même quelques exemples.

Synthèse additive des couleurs (PC)

Cet exemple est arrivé dans la classe de seconde que j'ai en responsabilité, en séance de travaux pratiques.

On ajoute expérimentalement des lumières colorées. Pour cela, on utilise des filtres placés devant une lumière blanche de façon à obtenir des faisceaux de différentes couleurs. On fait ensuite se croiser les faisceaux grâce à des miroirs mobiles.

Dans ce cas, le mélange d'une lumière rouge et d'une lumière verte donne une lumière d'un jaune vif, canari.

Un élève a soutenu que le jaune obtenu était un peu marron.

Mon explication : J'ai vérifié que l'élève n'avait pas de problèmes de vue. Il a appris que le mélange du rouge et du vert donne du marron dans le cas des mélanges de pigments.

Remarque : Bien que j'ai insisté en classe sur la différence entre lumière et pigments, cette réponse est apparue dans plusieurs contrôles.

La respiration du steak (SVT)

Au collège, le professeur enseigne le phénomène de la respiration cellulaire par le procédé suivant : un morceau de viande coupée est isolé sous une cloche de verre. Au bout de quelques temps, l'air contenu dans la cloche est analysé par le test du gaz carbonique (test à l'eau de chaux) et le test est positif.

Conclusion de l'expérience : la viande consomme de l'oxygène et produit du gaz carbonique, c'est une respiration.

Explication de l'enseignant : la négation de ce fait est dû d'une part à un sentiment de dégoût des élèves (manger quelque chose de vivant), d'autre part à la signification quotidienne du mot "vivant" qui est bien lié à la respiration et qui produit ici une contradiction totale avec l'idée de l'animal mort.

Remarques :

- on peut penser que l'idée de manger un animal mort n'avait pas davantage effleuré l'esprit de tous les élèves : cette expérience est vraiment très déstabilisante!
- j'ai obtenu cette réponse en discutant avec l'enseignant pendant qu'il remplissait le questionnaire (j'ai pu ainsi mieux comprendre le contexte de cette expérience), et j'ai eu personnellement beaucoup de mal à accepter le fait que les cellules continuaient à respirer post mortem... j'ai même demandé confirmation à une collègue de SVT de mon lycée pour savoir combien de temps durait le phénomène!¹

Pertinence : le classement de cette expérience en tant que fait brut peut paraître discutable, puisqu'il passe par un test du gaz carbonique. Ceci étant, le test à l'eau de chaux ne pose aucun problème aux élèves et les manipulations en elles-mêmes n'ont pas été critiquées pour étayer le refus.

Les plantes sont aussi des êtres vivants(SVT)

Pour certains élèves de collège, les seuls êtres vivants sont les animaux; les mammifères un peu moins que les humains, les animaux inférieurs presque pas et les plantes pas du tout.

Explication de l'enseignant : on peut avancer l'idée de locomotion comme critère nécessaire pour définir le vivant.

Pertinence : Malgré le problème de vocabulaire évident, la négation des faits est là, puisque le fait que les plantes meurent semble connu de tous.

La tension aux bornes d'un interrupteur ouvert est non nulle (PC)

Le courant est le même partout dans une boucle de circuit électrique (PC)

Malgré la mesure effectuée, le fait n'est pas intégré et l'élève n'en tient pas compte dans les problèmes.

¹ La conversation a alors pris un tour un peu morbide, comme une introduction à la médecine légale pour néophyte...

Explication de l'enseignant : l'électronique n'est pas très intuitive.

Mesures et points expérimentaux (PC)

En physique, un modèle théorique relie souvent deux grandeurs de façon proportionnelle. Si les mesures sont infiniment précises et le modèle parfait, tous les points expérimentaux sont alignés sur une droite passant par l'origine sur le graphique. Ce n'est jamais le cas en pratique en raison des erreurs de mesure.

Les élèves arrangent les mesures pour que les croix (points) obtenues soient parfaitement alignées.

Explication de l'enseignant : Ce n'est pas une crainte de l'autorité, mais une absence d'esprit critique, une horreur du désordre, un goût pour le confort des certitudes et des dogmes.

Pertinence : il s'agit bien de la négation volontaire du fait brut expérimental, quelles qu'en soient les raisons. Pour l'élève, ce qu'il faut obtenir est plus important que ce qu'il constate ou mesure.

I – 1 – c Résultats d'études statistiques fiables

Les faits obtenus de cette façon concernent bien évidemment l'histoire-géographie et les sciences économiques. On peut penser que ce type de faits peuvent être niés plus facilement par les élèves, puisque leur acceptation repose sur la confiance dans l'étude statistique.

L'Algérie, qui est un pays pauvre, possède des richesses (HG)
Les habitants d'un pays pauvre ont une forte fécondité (HG)

Explication de l'enseignant : réalités paradoxales – leur acceptation s'améliore du collège au lycée.

Il y a un lien entre la taille moyenne des individus et leur niveau social (SES)²

Explication de l'enseignant : le fait statistique est refusé pour des raisons morales; en effet, les élèves sont choqués par l'eugénisme apparent de la proposition – les élèves confondent causalité et corrélation statistique (voir paragraphe III – 4)

I – 1 – d Faits liés à des théories avérées

Les faits niés ici ont un statut un peu différent : ils sont des conséquences de théories prouvées mais ne sont pas accessibles facilement par l'expérience.

² Cas obtenu lors d'une discussion avec un collègue (réponse non incluse dans les questionnaires).

La théorie de l'évolution (SVT)

L'enseignant évoque la proximité génétique entre l'Homme et les grands singes.

Deux exemples de refus dans les réponses, pour des raisons religieuses. Dans un des cas, l'élève, adventiste, a offert à l'enseignant un livre intitulé "L'Homme, produit de la création".

La structure de la Terre (SVT)

Certains élèves refusent l'existence du magma terrestre.

Explication de l'enseignant : cela heurte les conceptions majoritaires d'une Terre solide.

En l'absence de forces, le mouvement ne s'arrête pas (PC).

Refus de l'élève argumenté par le fait qu'il faut une force pour que le mouvement continue.

Explication de l'enseignant : sur Terre, l'expérience est délicate, et la conception que le mouvement est une force est difficile à enlever. Pourtant, l'idée qu'il faut un acteur pour définir une force a été clairement exprimée.

Le mouvement d'un objet peut être en sens contraire de la force qu'il subit (PC)

Un ballon lancé vers le haut est soumis à son poids qui le tire vers le bas. L'élève refuse la notion et introduit le mouvement comme force.

Explication de l'enseignant : conception du mouvement comme force.

I – 2 Lien entre fait naturel et théorie

On voit dans les exemples cités que les faits évoqués ne sont pas tous de même nature et que certains d'entre eux sont intimement liés à la connaissance et à l'acceptation des théories fondatrices du domaine, telle que le principe d'inertie en physique ou la théorie de l'évolution en biologie. Outre la démarche scientifique, ce sont notamment ces théories et le changement de vision du monde qu'elles suscitent que nous cherchons à enseigner aux élèves. Il faut donc regarder plus précisément le lien entre le fait naturel et les théories.

Comment se construisent les théories scientifiques par rapport aux faits?

Tout d'abord, la notion de théorie scientifique validée est une notion précise, incompatible avec un certain relativisme ambiant (tout se vaut...), contrairement à l'acception courante du mot "théorie" dans la langue française, théorie opposée à pratique et évoquant des notions sujettes à caution.

Ce glissement du vocabulaire pose d'ailleurs problème aux élèves (voir paragraphe II – 3).

En effet, une théorie validée est telle qu'aucun fait naturel ne vient la contredire : elle permet toujours d'interpréter un fait naturel avec un point de vue qui lui est propre.

Ce point de vue n'est pas toujours intéressant : la théorie atomique n'apporte rien à la compréhension du comportement des girafes. Il n'empêche que les atomes de la girafe se comportent "convenablement", selon les lois de la théorie atomique.

Pour que ceci soit exact, il faut apporter une précision dans la définition d'une théorie validée. Certaines théories sont inconditionnelles, telle que la théorie de l'évolution sous sa forme la plus basique : les espèces évoluent, disparaissent ou non, en formant de nouvelles espèces par incompatibilité génétique³.

D'autres, telles que la mécanique classique newtonienne, sont niées par certains faits naturels :

- lorsque les dimensions considérées sont de l'ordre des dimensions atomiques ou inférieures, le mouvement d'un objet est régi par des lois probabilistes (mécanique quantique);
- lorsque les vitesses sont très grandes ou lorsque les champs de gravitation sont intenses, la notion de temps dépend de l'observateur (relativité);

D'une façon stricte, ces théories invalident complètement la mécanique classique au sens de modèle explicatif de la Nature⁴.

Cependant, lorsque les dimensions sont ni trop grandes ni trop petites, et les champs ou les vitesses assez faibles, la différence entre les prévisions de la mécanique classique et celles des théories plus élaborées existe mais est négligeable, c'est-à-dire qu'on ne peut la détecter en pratique, en raison de la précision limitée des appareils.

On peut donc proposer cette définition dans le cadre de la physique⁵:

Une théorie physique est validée lorsque ses prévisions sont vérifiées par tous les faits naturels, dans un domaine de validité parfaitement déterminé qui dépend de la précision souhaitée, d'une façon connue également⁶.

Cette notion de domaine de validité est donc incluse dans la théorie elle-même.

Logiquement, cette proposition est invérifiable, puisqu'il est impossible de connaître tous les faits naturels : on ne peut qu'invalider une théorie existante (Popper, 1973)ⁱ en trouvant un fait naturel qui contredit la théorie et en proposer une meilleure, et ainsi de suite.

Entre le moment de sa formulation par son auteur et sa rencontre quotidienne avec les faits naturels, la théorie se bat avec des faits de plus en plus délicats qui la poussent dans ses retranchements.

Selon ce qui se produit, elle peut se valider de deux façons :

- elle interprète bien le phénomène considéré;

³ Ce qui ne veut pas dire que les théories ne s'affinent pas. Darwin pensait que le seul mécanisme de l'évolution était la sélection naturelle. On sait aujourd'hui que le mécanisme de dérive génétique ("triomphe" d'un gène sur ses concurrents par pur hasard) est très important.

⁴ Ces théories sont incompatibles pour l'instant : aucune théorie physique n'est validée strictement comme modèle explicatif de la Nature.

⁵ Je ne saurais pas étendre cette définition à d'autres disciplines scientifiques...

⁶ Les différences de prévisions entre la théorie classique et la théorie quantique sont d'autant plus faibles que les dimensions sont grandes.

Des exceptions existent, mais qui sont également bien connues, telles que les matériaux magnétiques ou l'électricité dans un métal...

- un écart aux prévisions lui permet de mieux préciser son domaine de validité; ou bien elle peut être invalidée par le fait qui détruit un de ses concepts fondamentaux.

Pour donner un exemple de cette invalidation, il est certain que la Terre n'est pas le centre de l'Univers, l'astronautique l'a prouvé par la simple observation. La théorie géocentrique est donc fautive, sans ambiguïté.

Une théorie est considérée comme intéressante lorsque son domaine de validité est suffisamment large et suffisamment général, de telle sorte qu'elle peut prévoir des comportements dans des situations qui n'ont pas servi à la construire.

On voit qu'une théorie physique n'est pas une construction qui relève de la logique pure : on peut toujours imaginer qu'un fait naturel inconnu, mais qui fait partie de son domaine de validité, l'invalidé brutalement⁷.

Son acceptation définitive relève donc de la confiance que cela ne se produira pas. Cette confiance se renforce avec l'observation des faits naturels et l'expérimentation, qui est simplement une mise en scène du fait naturel (on produit des conditions particulières qui créent artificiellement une situation délicate pour la théorie, et on écoute attentivement la réponse de la Nature).

Il arrive un moment où cette confiance est consensuelle et où nier la théorie devient irrationnel, même si cette négation est parfaitement logique!

Certaines pseudo-sciences prétendent que ces contre-exemples existent (télékinésie, etc.) mais l'invalidation logique de la théorie impose que ces contre-exemples soient bien des faits naturels, ce qui légitime un contrôle strict de leur réalité par le monde scientifique. Ces contrôles sont souvent perçus ou montrés par les défenseurs des pseudo-sciences comme une lutte de pouvoir, ce qu'ils ne sont pas : si la validation d'une théorie scientifique est finalement un processus social, son invalidation est en revanche un processus qui relève de la pure logique.

Comment introduire ces notions dans une classe de lycée?

Dans une perspective d'enseignement, ces considérations me semblent très complexes et inaccessibles à la plupart des élèves de début de lycée.

Cependant, il y a trois notions qui me paraissent exploitables :

- il existe des faits qui sont simples pour la théorie en cours d'acquisition et d'autres qui sont délicats et qui la poussent à sa limite;
- l'expérimentation donne un résultat indiscutable dans le cas d'une invalidation, mais elle ne prouve pas grand'chose quand le résultat est positif;
- néanmoins, l'expérimentation peut être vue comme la création d'un fait naturel nouveau, qui ne serait pas accessible par une observation directe.

Regardons la première notion, c'est-à-dire la différence entre des faits qui s'intègrent très bien dans la théorie et des faits qui la poussent à sa limite.

⁷ Par exemple, que la table sur laquelle est posée mon ordinateur se mette en mouvement toute seule ou disparaisse.

Faits simples et faits paradoxaux

Lors de l'étude du principe d'inertie dans la classe de seconde que j'ai en responsabilité, j'ai été confronté à cinq types de faits réellement distincts, tant pour introduire le principe en classe que pour l'utiliser et en tirer des conclusions sur les forces.

Voici l'énoncé du principe, tel que le recommande le Bulletin Officiel pour la classe de seconde :

- Tout objet soumis à des forces qui se compensent est en mouvement rectiligne uniforme (à vitesse constante).
- Tout objet en mouvement rectiligne uniforme est soumis à des forces qui se compensent.

Il faut préciser auparavant que l'immobilité est un cas particulier de mouvement rectiligne uniforme, à vitesse nulle.

1^{er} type de faits : le fait vérifie la théorie, et l'interprétation est simple.

L'exemple que j'ai choisi en classe est celui du parachutiste⁸ : après l'ouverture du parachute, on constate que le parachutiste est bien en mouvement rectiligne uniforme, à l'aide d'une caméra par exemple.

On utilise alors le principe d'inertie pour trouver que la force de frottement exercée par l'air est opposée au poids du parachutiste.

Cet exemple m'a semblé très intéressant, car je l'avais déjà introduit avant l'énoncé et les élèves avaient à l'unanimité décidé que le poids devait être supérieur aux frottements de l'air puisque l'objet descend : il permet donc de corriger une conception fautive.

Remarquons que malheureusement, cet exemple ne permet pas d'introduire le principe d'inertie puisque la force de frottements exercée par l'air ne peut pas être calculée au niveau du lycée.

2^{ème} type de faits : le fait vérifie la théorie, mais il est paradoxal.

L'exemple typique est la voiture qui roule à vitesse constante, ou celui de l'homme qui marche ou qui nage. C'est l'exemple typique de faits qui poussent la théorie à sa limite.

Le raisonnement dans les deux cas est le même : les forces qui s'exercent sur la voiture sont

- son poids
- la réaction du sol (sinon, elle s'enfoncerait dans le sol)
- les frottements de l'air
- les frottements du sol

L'application du principe montre que la réaction doit être opposée au poids, et les frottements de l'air opposés aux frottements du sol.

⁸ Un exemple similaire est celui de la chute d'une goutte d'eau dans de l'huile.

Or, les frottements de l'air sont sans ambiguïté dirigés vers l'arrière puisqu'ils empêchent le mouvement. La seule conclusion que l'on peut tirer est que ce sont les frottements du sol qui font avancer la voiture! En mécanique, on les appelle frottements moteurs.

On justifie cela en disant que si le sol est glacé, la voiture ne peut avancer et patine.

Je me suis refusé à présenter tout exemple impliquant ces frottements moteurs, bien qu'ils soient très courants dans la vie quotidienne (principe de la roue par exemple) et dans les livres scolaires.

La notion me semble bien trop complexe en seconde, car pour l'élève, c'est toujours le moteur qui fait avancer la voiture.

En un sens, il a parfaitement raison : en terme d'énergie, c'est le moteur qui transforme l'énergie chimique de l'essence en énergie du mouvement⁹.

3^{ème} type de faits : le fait n'existe pas sur Terre!

Malheureusement, c'est le seul type de faits qui permette l'introduction du principe. L'exemple que j'ai pris est celui du bobsleigh (à partir d'une scène tirée du film Rasta Rockett).

L'entraîneur pousse le bobsleigh qui contient l'équipe de bobbers, et les élèves s'interrogent sur le mouvement du bobsleigh après la poussée de l'entraîneur, en supposant que

- les frottements de l'air sont négligeables
- les frottements de la glace sont négligeables
- la piste reste horizontale

Nous arrivons ainsi, en modélisant avec un mobile autoporteur sur une table à coussin d'air et en généralisant, à la première partie de l'énoncé du principe.

Ce fait implique d'utiliser la modélisation (monde idéal sans frottements – voir le paragraphe II – 3) ou demande de se placer dans l'espace vide d'air (et de gravitation!) pour que le principe soit vérifié.

4^{ème} type de faits : le fait vérifie la théorie, mais de façon négative.

Un mobile n'a pas un mouvement rectiligne uniforme : les forces qu'il subit ne se compensent donc pas.

Un exemple typique est le mouvement de la Lune autour de la Terre, qui est circulaire uniforme¹⁰. La force présente ici est l'attraction de la Lune par la Terre.

Ce type de faits est intéressant mais il pose le problème logique lié à l'implication : voir le paragraphe III – 3.

⁹ J'ai d'ailleurs constaté dans ma classe que la confusion mouvement/force des élèves est en fait une confusion entre énergie du mouvement et force : l'effet d'une force subsiste après son action comme énergie du mouvement. J'insiste beaucoup sur le fait qu'il faut un acteur (objet ou personne agissante) pour définir une force.

¹⁰ Je ne l'ai pas encore traité en classe.

5^{ème} type de faits : le fait contredit la théorie!

Ceci est hors du programme de la classe de seconde. Le principe d'inertie n'est parfois pas vérifié, notamment lorsqu'on étudie le mouvement de l'objet par rapport à un corps en mouvement (appelé référentiel) tel qu'une voiture ou un bus qui prend un virage.

Pour prendre un exemple, pendant que le bus tourne, une bille posée sur la tablette d'un passager est soumise à des forces qui se compensent et a un mouvement rectiligne uniforme par rapport à la Terre, mais son mouvement dans le bus est différent (la bille semble tourner à gauche si le bus tourne à droite).

En apparence, il ne paraît pas indispensable d'évoquer ce type de faits. Ceci dit, l'expérience quotidienne des élèves qui prennent le bus matin et soir leur montre plus ou moins consciemment que le principe d'inertie est faux dans le bus¹¹.

Ceci pose une véritable difficulté, et ne pas aborder ce point risque de rendre le principe d'inertie très abstrait pour les élèves.

On voit ici que le principe d'inertie pose des problèmes de didactique considérable, entre autres raisons parce que les faits interprétables simplement et qui le valident n'existent pas dans la nature, du moins la nature familière aux élèves, et ceux qui existent valident la contraposée (voir III – 3).

Ce principe est particulièrement difficile, mais dans le cadre de la problématique de cette étude, on peut remarquer que s'appuyer sur un fait qui n'en est pas un peut nous confronter à un rejet du fait par l'élève. Il faut bien considérer ce rejet comme légitime si l'on n'a pas pris la précaution d'expliquer le statut de la modélisation.

Remarquons que je n'ai pas constaté cela dans ma classe.

I – 3 Existe-t-il quelque chose qui s'appelle un fait?

D'après (Baraquin et al., 1995, p.130)ⁱⁱ:

Fait :

1) Sens courant : ce qui est arrivé, constitue un donné.

2) Phil., epis. : ce qui se manifeste comme une donnée objective de l'expérience.

S'oppose : a) à ce qui est de l'ordre de la seule pensée : le réel par rapport à l'hypothèse, à la théorie, à l'imaginaire ou au possible; le donné par rapport au construit; b) au nécessaire : le fait est ce qui pourrait ne pas être, dont l'existence est contingente; c) au droit : on ne peut établir le droit par le fait, en aucun domaine (moral, politique, épistémologique).

La notion existe donc bien et la définition 2-a semble être la plus proche de celle utilisée dans ce mémoire. Je développerai le point de vue de la définition 2-b dans le paragraphe III – 5.

¹¹ En effet, même s'ils ne jouent pas avec une bille sur une tablette, il ressentent une force vers la gauche lorsque le bus tourne à droite (force centrifuge) et cette force ne peut pas en être une dans le cadre du programme de seconde puisqu'il n'y a pas d'acteur pour l'exercer.

La notion définie ainsi pose néanmoins certains problèmes, ainsi que le rappelle un des collègues qui a répondu au questionnaire:

"Un fait naturel": c'est bien arbitraire: pensez au découpage des couleurs faits par les différents peuples: en breton, par exemple, bleu, vert et gris sont désignés par un seul mot, ...

La notion de fait contient des éléments culturels : donner le même nom à des choses distinctes implique toujours une certaine assimilation. Cette assimilation est plus ou moins importante, de l'association d'idées (le temps qu'il fait, le temps qui passe) à l'identification pure et simple (cas des couleurs) qui laisse entendre que les différences observées sont de simples nuances ne présentant pas un intérêt majeur.

L'observateur est donc actif lorsqu'il définit un élément de la réalité comme un fait : cette définition suppose l'observation, qui est active, et l'acte d'isoler la donnée du contexte. Cette séparation suppose que la donnée puisse obtenir du sens dans le cadre des conceptions préexistantes. Il s'agit déjà une démarche scientifique, puisque la racine du mot science signifie séparer¹².

En classe, un événement expérimental ou naturel est toujours présenté avec le crible de la théorie que l'on cherche à introduire : nous orientons l'observation des élèves et contribuons ainsi à créer le fait dans l'esprit de l'élève.

Il me semble que cette façon de présenter l'évènement est susceptible de développer la curiosité de l'élève, en ce sens qu'il peut donner un sens nouveau à une perception banale en fournissant différentes grilles d'analyse. Pour cela, il me semble que l'évènement ne doit pas être trop artificiel (par exemple, utiliser l'électrolyse de l'eau pour présenter la notion de volume molaire des gaz¹³) ni trop paradoxal (réaction du sodium avec l'eau pour illustrer la notion de famille chimique¹⁴).

Si l'on accepte l'idée que le fait est suggéré en orientant l'observation chez les élèves, la notion de fait naturel a-t-elle encore un sens?

Dans le cas des faits bruts évoqués au paragraphe I-1-b, il semble qu'il n'y a pas d'ambiguïté sur le résultat de l'observation commune (les élèves sont presque tous d'accord sur l'observation), et que la raison du rejet du fait n'est pas de cette nature.

Sans oublier que la notion de fait est une construction, il me semble possible de "faire comme si" le fait était bien une donnée extérieure à l'observateur. De plus, comme on l'a vu au paragraphe précédent, c'est ainsi que se construisent les théories scientifiques.

On peut cependant remarquer qu'un désaccord persistant peut très bien être associé à un handicap : pour les couleurs, un problème de daltonisme, pour les directions, un problème de latéralisation ou de dyslexie, etc.

¹² Remarquons que certaines cultures, spiritualistes, refusent cette démarche de séparation entre l'observateur et le monde extérieur.

¹³ Lorsqu'on fait l'électrolyse de l'eau (H₂O), celle-ci se transforme en deux gaz H₂ et O₂, et il se forme un volume double de H₂ que de O₂.

¹⁴ Le sodium est un métal mou, d'apparence ordinaire, mais il réagit avec l'eau, un peu comme un comprimé effervescent. Il arrive même qu'il s'enflamme.

I – 4 Quelques interprétations possibles du rejet des faits

Je donne ici des éléments d'interprétation possibles, personnelles ou venant des réponses des collègues dans les questionnaires. Cependant, j'exclus de ce paragraphe les problèmes liés à la modélisation, traitée en détail au paragraphe II – 3, ainsi qu'à la force des anciennes conceptions, thème important qui sort du cadre de ce mémoire.

I – 4 – a Un effet paradoxal : le suivisme et le principe d'autorité

Dans la classe que j'ai en responsabilité, j'ai pu remarquer que les élèves apprécient le confort d'un cours transmis, même si celui-ci peut être moins efficace que lorsqu'ils sont actifs lorsqu'il s'agit de faire comprendre des notions complexes. Ils n'aiment pas beaucoup non plus écrire des hypothèses fausses dans leur cahier (ni les voir au tableau) et ont tendance à les effacer une fois parvenus à la conclusion correcte.

Du point de vue de l'élève, nous représentons un savoir qu'il faut acquérir et ils ont du mal à nous voir dans un rôle d'animateur.

Chacune des deux attitudes de l'enseignant et de la classe ont des qualités particulières et posent des problèmes divers, et dans l'idée de varier au maximum les pratiques pédagogiques, il me semble absurde de se limiter à l'une d'entre elles.

L'exemple cité par le collègue (mesures et points expérimentaux, paragraphe I-1-b) et qu'il analyse par un effet de suivisme se comprend bien dans ces rôles préétablis de l'élève qui a tort et de l'enseignant qui a raison, les théories qu'il énonce étant considérées comme parole d'évangile.

De plus, modifier les mesures expérimentales pour que les croix s'alignent montre bien que le lien logique entre les faits et les théories n'est pas compris : les théories sont plus importantes que les faits, ceux-ci doivent s'y plier. Il s'agit bien d'une position anti-scientifique qui a historiquement subsisté longtemps jusqu'à ce que la démarche scientifique soit bien définie.

Avec ce point de vue, la science et la technologie ne peuvent être considérées que comme un pouvoir social très fort, en raison de leur puissance sur la réalité (économique par exemple), et ésotérique car réservé aux initiés. Ce point de vue semble très répandu dans la société¹⁵.

Il me semble important pour limiter de problème de pratiquer une démarche constructiviste de temps à autres, afin de montrer que ces théories n'ont pas été posées arbitrairement. On peut également expliciter le lien entre les faits et les théories en incitant notamment les élèves à se battre avec elles en recherchant activement des contre-exemples.

On peut néanmoins remarquer qu'une pratique scientifique totalement exempte de ces problèmes est une utopie : quel jeune chercheur peut publier un article dans une revue à comité de lecture sans obtenir la signature d'un chercheur connu sur son article¹⁶? une bibliographie a-t-elle pour seul objectif d'aider le lecteur à approfondir son analyse?

¹⁵ Dans l'esprit de beaucoup de gens, le progrès technique provoque du chômage.

¹⁶ De telles mésaventures sont notamment arrivées à S.Chandrasekhar, grand astrophysicien indien : voir (Kameshwar C. Wali, 1998)

I – 4 – b Des modèles sociaux qui s'éloignent de la science

FRANKIE: Il faut trouver quelque chose qui sonne bien.

ARTHUR: Qui sonne bien? Une Question Fondamentale qui sonne bien?

FRANKIE: Oui. Je veux dire: l'Idéalisme, d'accord; la dignité de la recherche pure, d'accord; la poursuite de la vérité sous toutes ses formes, d'accord; mais à un moment, je crains qu'on ne commence à soupçonner que s'il existe une vérité absolue, c'est que l'infinité multidimensionnelle de l'Univers tout entier est presque à coup sûr dirigée par une bande de malades mentaux. Alors, si on a le choix entre perdre encore dix millions d'années à s'assurer d'un truc pareil ou juste prendre l'oseille et se tirer en courant, personnellement, je crois qu'un peu d'exercice me ferait du bien.

Science et considérations financières diverses

Ce chef-d'oeuvre de la science-fiction, adapté sous forme littéraire d'après le célèbre feuilleton radiophonique du même nom¹⁷ diffusé en 1978 aux Etats-Unis, évoque de façon humoristique mais très perspicace un point de vue qui semble assez répandu. Pourquoi s'intéresser au monde matériel ou vivant, qui constitue simplement le décor, alors que les problèmes sociaux ou les considérations pratiques (par exemple financières) sont bien plus importants?

Cette position s'oppose systématiquement à la recherche scientifique dès lors que les investissements en jeu sont importants.

D'un point de vue global, et même en terme économique, nous savons qu'il s'agit d'une position à courte vue, puisque les retombées de la recherche sont immenses et par définition inconnues par avance. Cependant, d'un point de vue individuel et pour un élève, cette position est fortement encouragée par la baisse du statut social et financier des scientifiques en général et des enseignants.

Cela ne constitue pas un rejet des seuls faits naturels, mais un rejet complet de la démarche scientifique. J'ai souhaité en parler dans cette étude, suite à une remarque d'un élève à sa voisine de table, remarque qui ne m'était pas destinée, mais que j'ai pu entendre :

"De toute façon, moi je m'en fous, mon père me donnera son entreprise, alors..."

D'après ses résultats corrects dans les autres disciplines, il semble qu'il ne généralise pas cette approche peut-être un peu trop confiante à l'ensemble de ses études...

Science et religion

Quelques exemples donnés par les collègues de biologie évoquent un rejet de la théorie de l'évolution pour des raisons religieuses.

D'après ces collègues¹⁸, il est difficile de gérer une telle situation. En effet, il s'agit d'une négation des preuves historiques indiscutables (fossiles) qui ont conduit Darwin à sa théorie. Le problème est moins aigu qu'aux Etats-Unis où de nombreux états imposent une parité entre la théorie de l'évolution et le créationnisme dans les universités (une chaire pour une chaire, un département pour un département).

Les positions religieuses ne sont heureusement pas toujours si extrêmes : souvent elles ne nient plus les faits naturels indiscutables. Les religions s'intéressent davantage aux valeurs morales et souhaitent encadrer la pratique scientifique dans des comités d'éthique, par exemple.

Dans le cadre de la laïcité, la tolérance des positions religieuses individuelles paraît très positive, mais que faut-il faire face à des discours qui nient l'évidence des faits?

¹⁷ The Hitchhiker's Guide to the Galaxy.

¹⁸ Lors d'une discussion, une collègue de mon lycée m'a cité deux cas qu'elle avait vécus. Elle n'a pas su trouver quoi répondre la première fois, et a évoqué le caractère symbolique des écrits religieux la deuxième fois.

I – 5 Conclusion : une tragédie?

Lorsque le fait brut est nié, la position de l'élève n'est absolument pas tenable. En psychologie, c'est précisément ce qui définit des tendances psychotiques : on se fabrique une réalité personnelle tellement différente de celle vécue par les autres qu'aucune communication n'est plus possible.

Les faits que nous introduisons dans nos classes ne sont pas de nature à créer de telles tendances. Par contre, serait-il possible de les détecter chez un élève au travers de dénégations absurdes? Je n'ai pas constaté cela personnellement en classe. Cependant, une élève intelligente mais psychologiquement fragile, conflictuelle et très isolée dans la classe nie souvent des raisonnements que je fais ou que font les autres élèves, raisonnements qui ne posent pourtant aucun problème au reste de la classe.

On peut penser que le refus du fait naturel observable est une réaction épidermique de l'élève face à une réalité qui heurte ses conceptions, qu'elles soient d'ordre scientifique, religieux ou moral. Si le fait est accessible directement par les sens, il semble acceptable par l'élève bien plus facilement.

Une telle négation est finalement très positive : cela signifie qu'un conflit se produit dans l'esprit de l'élève. Comme il ne peut à long terme nier le fait, il devra se remettre en question. L'autre possibilité est qu'il préfère garder ses théories personnelles et simplement ignorer ou oublier le fait qui s'est produit.

Dans ce cas, il me semble qu'insister lourdement sur le fait ou sur la fausseté de ses conceptions marquerait de ma part un certain manque de tact et de délicatesse. Une autre méthode qui me paraît plus efficace : insister sur l'importance des faits de manière détournée en donnant des éléments de logique et de déduction. J'explique cette démarche à la partie III.

Avant cela, il me semble juste d'examiner quelques situations où nous, enseignants, prenons quelques libertés avec les faits naturels.

II – Petits arrangements avec les faits...

Quand l'enseignant prend des libertés avec les faits naturels

II – 1 Trois exemples

Le faux sucre

Le principe est de montrer la notion de quantité de matière¹⁹ : je présente en classe une même quantité de matière d'eau et de sucre (saccharose). Les élèves constatent de visu que le volume et la masse de sucre (342 g) sont considérablement plus importants que pour l'eau (18 g).

Je pensais que cette démonstration ne poserait aucun problème. Malheureusement, il n'y avait pas de saccharose au labo, et les balances sont limitées à 200 g.

Plutôt que d'aller en acheter, je remplace le sucre par une substance chimique quelconque blanche cristallisée, et je verse une quantité que j'estime approximativement à l'aide de souvenirs culinaires. Cela n'a bien sûr posé aucune difficulté en classe.

L'orange bleue

Il s'agissait de montrer ce qu'était la couleur d'un objet²⁰. Dans une démarche constructiviste, l'expérience faisait suite à la question posée aux élèves:

"Si l'on éclaire une orange avec une lumière bleue, de quelle couleur sera-t-elle vue?"

Ayant obtenu beaucoup de réponses variées et intéressantes, je décide de faire l'expérience et la prépare au labo.

L'expérience fut impossible à réaliser : les filtres bleus du laboratoire sont très mauvais et l'orange persiste à paraître orangée. De plus, en raison de l'absorption du filtre, la température augmente considérablement autour de la boîte qui contient l'orange et l'observation est intenable.

J'ai dû faire une expérience similaire et plus simple à réaliser : j'ai utilisé un jouet bleu éclairé avec une lampe rouge. C'était un peu plus concluant, mais le jouet paraissait noir et non rouge foncé. La portée de la démonstration s'en est trouvée affaiblie.

La respiration du steak (voir I – 1 – b)

D'après la collègue qui utilise cette expérience en classe, la respiration cellulaire dure au plus quelques heures après que l'animal a été abattu. Ce qu'on observe en classe n'est donc pas le phénomène invoqué, mais la fermentation produite par les bactéries qui vivent sur le morceau de viande.

Il est interdit en classe d'abattre des animaux et la viande fraîche est donc indisponible.

¹⁹ La quantité de matière d'une substance est le nombre de molécules qu'il y a dans cette substance.

²⁰ L'objet coloré absorbe différemment les différentes couleurs contenues dans la lumière blanche solaire par exemple. L'orange paraît orange, car elle absorbe beaucoup plus le bleu et le violet que les autres couleurs; elle renvoie (par diffusion) ces autres couleurs dont la somme est orange et une partie de cette lumière renvoyée entre dans l'oeil.

En théorie, l'orange doit donc paraître bleue - ou d'un bleu très foncé voir noir - si le bleu est très absorbé.

II – 2 Légitimité? l'efficacité du message

Dans les situations précédentes, nous cherchons à enseigner une théorie à l'aide d'un fait exposé en classe, mais la nature ne se laisse pas faire. Nous sommes dans ce cas confrontés à deux possibilités.

On peut souhaiter faire preuve d'une bonne honnêteté scientifique et faire l'expérimentation tout de même. Il faut ensuite justifier aux élèves les raisons de l'échec de l'expérience, ce qui demande une préparation détaillée au préalable, dans le labo, et impose de rechercher les causes d'échec.

Cela semble très positif, mais la difficulté majeure est souvent que les causes d'erreur sont diverses, pas évidentes à cerner et font appel à des éléments théoriques que les élèves ne maîtrisent pas.

Il me semble intéressant de faire parfois, volontairement, ce type d'expérience qui échoue, dans le but de montrer aux élèves ce qu'est une investigation scientifique. Dans ce cas, il faut s'assurer que les causes d'erreur sont compréhensibles par les élèves, ou mieux, qu'ils peuvent les deviner.

Remarquons qu'un échec expérimental peut rapprocher l'enseignant des élèves, en ce sens qu'ils sont, eux, en permanence confrontés à leurs erreurs, alors que l'enseignant représente le savoir. Ceci peut affaiblir le problème du suivisme et du principe d'autorité (voir le paragraphe I-4-a).

On peut aussi trafiquer l'expérience de sorte que le message théorique passe mieux. En effet, la recherche systématique des erreurs prend du temps et peut briser le rythme d'une séance. Considérant que l'attention des élèves ne peut pas être soutenue par un questionnement sur une durée longue, le risque est alors de noyer le message théorique dans un bruit de fond, certes intéressant, mais hors du propos de la leçon. Les considérations pratiques sont également très importantes : la séance ne dure qu'une heure ou une heure et demie, et il est impératif d'arriver à une conclusion nette dans cette durée.

Une expérience ainsi trafiquée peut soulever des problèmes moraux chez l'enseignant. Si les causes d'échec sont d'ordre pratique et si l'expérience avait été concluante avec un meilleur matériel, le problème moral semble mineur. C'est le cas, me semble-t-il, des deux premiers exemples (le faux sucre et l'orange bleue).

Cela dit, quand l'expérience est tellement difficile à faire qu'elle doit être systématiquement trafiquée, il me semble qu'elle doit être remise en question : c'est le cas par exemple de l'oxydation des alcools par l'ion permanganate²¹. Dans ce cas, le statut de fait naturel du résultat expérimental semble en effet compromis.

Dans le cas de la respiration du steak, l'enseignant trouve l'expérience très embarrassante, puisqu'elle donne aux élèves l'idée fautive que le steak qu'ils mangent est vivant avant d'être cuit, ce qui ne correspond pas à la réalité biologique. Néanmoins, la force de l'expérience est indiscutable.

²¹ L'ion permanganate est violet dans l'eau. Lorsqu'un alcool est oxydé par cet ion, la solution se décolore. Un certain type d'alcool ne doit pas s'oxyder en théorie (alcools tertiaires). En pratique, la solution se décolore tout de même pour des raisons complexes.

II – 3 Risque de dessèchement par les modèles, une critique de fond?

Hautain, Arlequin toise les spectateurs avec un mépris et une morgue ridicules.

Au milieu de la classe qui devient houleuse, quelque bel et mauvais esprit se lève et tend la main pour désigner le manteau d'Arlequin.

- Hé, crie-t-il, toi qui dis que tout est partout comme ici, veux-tu nous faire croire aussi que ta cape est en toute pièce la même, par exemple devant comme au fondement?

[...]

Puissante et plate, la parole règne, monotone, et vitrifie l'espace; superbe de misère, le vêtement, improbable, éblouit. L'empereur dérisoire, qui répète comme un perroquet, s'enveloppe d'une carte du monde à multiplicités mal accolées. Verbe pur et simple, robe composite et mal assortie, chatoyante, belle comme une chose : que choisir?

- Te vêts-tu du routier²² de tes voyages? dit aussi le bel esprit perfide.

Tout le monde rit. Voici le roi pris et déconfit.

Michel SERRES²³ – Le Tiers Instruit

²² Carte routière

²³ (Serres, 1991, Introduction)

Il est assez simple d'appliquer ce merveilleux passage de Michel Serres à la physique. Pour sérier les problèmes, le physicien est amené à modéliser la nature d'une façon simplificatrice, ce qui lui permet de tirer des conclusions très puissantes sur le comportement du système qu'il étudie. Il en tire également des lois beaucoup plus profondes, applicables à d'autres situations.

Du coup, l'image du monde qu'il obtient est assez désolée: des solides parfaits indéformables subissent la force de gravitation d'astres immobiles, et tombent de façon synchrone sur le sol d'une planète, boule parfaite privée d'atmosphère. Tout ce monde imaginaire est bien sûr à une température nulle et dépourvu de lumière.

Nous savons bien, en tant que physicien ou en tant qu'enseignant, qu'il ne s'agit que de modélisation et que ces modèles ne prétendent pas se substituer à la réalité étudiée. Il n'en demeure pas moins qu'en apparence, la modélisation prend des libertés avec les faits naturels. De plus, cette position raisonnable des scientifiques n'est pas si banale : au début du XXème siècle, des courants scientifiques comme le scientisme n'hésitaient pas à prétendre que la réalité, ou du moins sa signification, se ramenait à la physique et à la chimie:

Scientisme (Baraquin et al., 1995, p. 291):

Attitude d'esprit qui tient la science et, en particulier, les sciences physico-chimiques pour seules capables de vérité [...] Le scientisme ne doit être confondu ni avec la science, ni avec l'esprit scientifique; il désigne une conception erronée de la science en ce qu'il lui attribue un pouvoir de légiférer dans des domaines qui lui échappent (art, religion, éthique, etc.)

Ce point de vue prêterait à sourire s'il n'était aussi antipathique, mais il a bien fallu l'apparition de la physique moderne pour qu'il disparaisse. En effet, les découvertes de la physique quantique ont prouvé que le monde microscopique échappait à notre compréhension profonde. De son côté, la relativité a obscurci notre vision du temps et de l'espace, et les bases de la physique théorique n'expliquent pas davantage leur nature, ni celle de l'énergie. Par ailleurs, la nature résiste très bien aux assauts de la physique des phénomènes complexes.

D'après une discussion que j'ai eue avec un collègue enseignant en sciences économiques, l'économie résiste également très bien aux mathématiques, contrairement à ce que certains dogmatismes voudraient faire croire²⁴.

Encore maintenant, deux positions différentes existent dans le monde de la physique:

- la physique propose des modèles ad hoc, de plus en plus complexes, qui permettent de mieux comprendre les phénomènes étudiés, dans le but de prévoir des comportements: c'est un point de vue utilitariste;
- les modèles sont proposés comme une vision de plus en plus exacte de la réalité naturelle. Un exemple typique est la recherche de l'unification à tout prix, pour arriver à la théorie du "Grand Tout".

La deuxième position est d'un abord plus tentant que la première, assez insatisfaisante. Son projet est très ambitieux : rien ne prouve qu'il soit possible d'atteindre une telle compréhension de la nature. Les nombreux articles de vulgarisation sur ce sujet associent à cette démarche un point de vue qui n'est pas toujours scientifique (mysticisme du Big Bang et de la théorie des cordes, par exemple).

²⁴ Des anciens de l'Ecole Normale ont fondé un groupe appelé "Les éconoclastes" qui ruine théoriquement les prétentions mathématisantes d'une certaine façon de faire de l'économie. Une des visions modernes de l'économie, défendue par Amartya Sen, prix Nobel d'économie en 1998, est qu'il s'agit d'une science morale (Sen, 1999).

Du point de vue didactique, je vois deux difficultés liées à cette simplification scientifique.

L'élève peut prendre les modélisations pour argent comptant. Il peut alors soit adhérer à ces modèles outrageusement simplificateurs, soit rejeter cette vision réductrice de la réalité et avec elle les sciences, la physique plus particulièrement, mais aussi la biologie qui étudie des domaines qui le touchent, tels que le fonctionnement du corps humain, d'une façon en apparence désenchantée.

Je n'ai pas rencontré cette première position d'adhésion chez les élèves, mais chez certains excellents ingénieurs qui croient dur comme fer au déterminisme classique²⁵ et en déduisent que la liberté de choix n'existe pas! c'est une position attristante.

Par contre, j'ai ressenti dans ma classe cette seconde position de rejet dans le cours de mécanique lors de l'étude des forces exercées sur un système.

Je parlais des acquis de la classe de troisième : un objet immobile, en équilibre, est soumis à des forces qui se compensent. Après ce rappel, j'ai fait remarquer que cela ne s'appliquait qu'à des corps solides : un élastique ou un chewing-gum soumis à deux forces opposées s'étire. Nous nous limitons donc à l'étude des objets solides, indéformables, puisque celle des objets mous ou liquides est trop complexe dans le cadre du lycée.

J'ai nettement senti une baisse d'implication de certains élèves due sans aucun doute à la restriction du modèle.

La première conclusion que je tire de cette situation est qu'il est préférable de ne pas simplifier outrageusement les modèles, tant que cela est possible. Par exemple, aucun calcul n'est fait sur les forces en classe de seconde : rien n'empêche donc de prendre en compte les frottements de l'air dans le cas des mouvements d'un solide dans le champ de pesanteur terrestre. J'avais tendance à les négliger²⁶ dans la perspective du calcul traditionnel que les élèves abordent en fin de lycée.

La seconde conclusion est qu'il faut expliquer aux élèves le statut de la modélisation. D'une part en précisant que des forces existantes peuvent être négligeables, sans influence visible sur le mouvement²⁷. D'autre part, un modèle simpliste permet de prévoir un comportement de façon grossière, et cela est légitime si le but est de se faire une idée du phénomène. Cette dernière notion, assez abstraite et générale, n'est pas simple à exprimer ou à faire deviner dans une classe, et je pense qu'il faut l'introduire progressivement, par des exemples. La mécanique en classe de seconde se prête bien à mon avis à l'acceptation de cette idée très scientifique.

²⁵ D'après la physique classique, imaginons que l'on connaisse précisément la position et la vitesse de toutes les particules à un instant donné. Les lois de la physique permettent alors d'en déduire leur position et leur vitesse à n'importe quelle date ultérieure : comme tout système, même très complexe, est constitué de particules, le futur est donc prédéterminé. C'est le modèle utilisé techniquement en météorologie, c'est dire s'il est susceptible d'échouer!

Plus sérieusement, dans le cadre même de la physique, ce modèle a disparu lorsque, entre autres raisons, on a pu prouver que des changements infimes des conditions initiales pouvaient avoir des conséquences radicales sur l'état futur du système (l'"effet papillon").

²⁶ La prise en compte de ces forces d'une façon calculatoire est très délicate et ne peut se faire que numériquement, grâce à l'informatique.

²⁷ On ne prend pas en compte la planète Saturne dans l'étude du mouvement de la Lune autour de la Terre, par exemple.

La deuxième difficulté rencontrée par les élèves est le sens et la portée, c'est-à-dire le pouvoir explicatif, des théories physiques. Prenons comme exemple la théorie atomique. Celle-ci ne fait plus aucun doute depuis qu'il est possible de "voir"²⁸ les atomes.

Tout d'abord, le mot théorie dans ce cas est malencontreux (voir paragraphe I – 2). Un élève m'a dit en début d'année: "Oui, mais c'est une théorie, ce n'est donc pas prouvé." Je lui ai répondu que le sens du mot théorie n'est pas le même en sciences et dans la vie quotidienne et que c'était bien prouvé²⁹, sans trouver d'arguments plus percutants.

En substance, la théorie atomique dit que "Toute la matière est constituée d'atomes"³⁰. Admettons pour l'instant que l'appropriation logique de cette théorie soit bien réalisée (voir paragraphe III): cette table est donc constituée d'atomes et moi aussi.

Cette conséquence de la théorie atomique a été très désagréablement perçue par certains élèves³¹, à cause d'une erreur de logique assez subtile.

Dans le point de vue de l'élève, les atomes ne sont pas des objets très attrayants; ils font alors une identification entre la nature des constituants, les atomes, et leur nature à eux, êtres humains, et s'estiment donc dévalorisés par la théorie atomique.

On peut remarquer que cette position a une résonance religieuse: "Poussière, tu es poussière et tu retourneras à la poussière." Historiquement, la peur de réduire l'Homme à ses constituants est certainement intervenue, entre autres raisons, dans la décision de l'Eglise d'interdire aux médecins la dissection du corps humain : le fonctionnement du corps devait rester du domaine divin.

Même si ces deux positions religieuses sont contradictoires, elles sont paradoxales, car dans les deux cas, c'est un point de vue scientifique extrêmement réducteur, le même que celui des élèves.

L'erreur logique est que l'argument de la complexité n'est pas vu: le comportement d'un ensemble de particules n'est pas du tout le même que le comportement individuel de chaque particule. De plus, pour des systèmes relativement complexes, on ne peut souvent pas le prévoir, ni en pratique, ni en théorie. Tout ce qu'on peut dire, c'est que le comportement global est compatible avec les lois de la physique.

C'est un point de vue récent, le holisme, très à la mode - dans la littérature de science-fiction particulièrement (B. Werber, etc.): "Le tout est plus que la somme des parties". Bien qu'il conduise à des dérives mystiques "de bas étage", il est parfaitement justifié dans la science

²⁸ Voir (Petit Robert) : Percevoir les images des objets par le sens de la vue.

Le sens est un peu détourné puisque les atomes sont plutôt touchés par une aiguille très fine (microscope à force atomique). Un logiciel traduit le mouvement de l'aiguille en une image et c'est cette image que nous voyons.

²⁹ J'ai abordé en quelques mots dans un autre cours les nanotechnologies (manipulation individuelle d'atomes)

³⁰ Au sens strict, cette théorie est fautive : il y a des particules élémentaires qui n'interviennent pas dans les atomes. Il semblerait même que la plus grande partie de la matière de l'Univers soit constituée de telles particules, c'est la fameuse "masse manquante" qui est plutôt une "masse en trop". Elle n'interagit pas avec la matière ordinaire, qui elle, est bien constituée d'atomes, ce qui explique sa discrétion. Sa seule influence est gravitationnelle et elle est mise en évidence dans l'étude du mouvement de rotation des galaxies. Pour l'instant, sa constitution demeure inconnue.

³¹ J'ai personnellement eu ce sentiment dans mes études, au collège.

moderne au travers de la notion d'émergence³² et constitue un argument majeur contre les positions scientistes.

En effet, les domaines scientifiques sont bien structurés en couches - qui s'entremêlent un peu, celles du dessus étant compatibles avec celles du dessous mais non déductibles:

?³³ < physique < chimie < biologie < psychologie < sciences sociales.

Ce modèle est lui aussi très simpliste. De plus, les mathématiques n'y sont pas incluses, leur statut de science naturelle ou non ouvrant un débat complexe.

Dans ma classe, j'ai donné l'analogie suivante. Tous les gâteaux sont faits de farine, de sucre, etc; cela n'empêche pas que les gâteaux fabriqués soient très différents.

L'analogie est imparfaite, puisqu'une blague d'enfant consiste à fabriquer un gâteau avec de la lessive, et que le résultat n'est pas comestible, mais je n'ai pas trouvé mieux.

La difficulté me paraît bien réelle, car si cela n'est pas compris, le point de vue répandu qui considère la science comme un pouvoir totalitaire est renforcé : on surestime l'importance et le pouvoir explicatif des théories de la matière.

Je pense éclairer ce point davantage lorsque j'aborderai en fin d'année la partie du programme de chimie qui s'intitule "Chimique ou naturel?"³⁴. Le but de cette partie est de faire comprendre aux élèves qu'il n'y a pas de différence entre les molécules synthétisées par l'industrie chimique et les molécules fabriquées par le vivant, à l'encontre de la théorie du vitalisme en vigueur jusqu'à l'expérience de la synthèse de l'urée par Wöhler en 1828.

Cette approche me paraît tout-à-fait justifiée dans ce sens, mais elle m'a mis mal à l'aise lorsque j'ai étudié le Bulletin Officiel en détail.

En effet, par une généralisation trop hâtive, cette approche peut inculquer involontairement l'idée fautive qu'il n'y a aucune différence entre des "produits"³⁵ naturels et des "produits" synthétiques, notamment dans le domaine alimentaire.

Je suis personnellement très sensible à cette distinction: il me paraît essentiel de faire comprendre aux élèves que l'ingestion massive de colorants ou de conservateurs alimentaires synthétiques n'a pas nécessairement les mêmes effets que l'ingestion massive de carottes ou

³² Voici un exemple très simple qui m'a beaucoup marqué dans mes études. Considérons un composant de base en électronique logique, la porte NON. Ce composant envoie en sortie 0 quand on lui applique 1 à l'entrée, et sort 1 quand on lui applique 0, à tout moment.

Il y a une façon particulière de connecter deux de ces portes NON : on fabrique alors une mémoire informatique, c'est-à-dire un composant qui garde de l'information.

Le comportement est devenu beaucoup plus complexe: la sortie dépend maintenant de l'état antérieur du composant. L'émergence de la notion de temps (d'histoire) apparaît dans ce cas quand le nombre passe de 1 à 2!

³³ En définitive, la physique se ramène à la perception humaine du monde (sensations communes) et les notions innées du temps et de l'espace, ce qui implique des notions de métaphysique, de biologie et de psychologie.

³⁴ L'organisation de mon lycée a fait que j'ai dû aborder cette partie au début de l'année et l'interrompre pour y revenir en fin d'année.

³⁵ Je mets le mot "produit" entre guillemets, car la notion n'est pas la même en chimie, où il signifie résultat d'une transformation chimique et dans la vie courante, comme ici, où il signifie substance.

l'utilisation de condiments³⁶. De plus, les OGM sont sous le feu de l'actualité ces temps-ci, et une pression importante s'exerce sur la société en vue de leur acceptation inconditionnelle.

J'insisterai donc, bien que ce soit hors programme, sur le fait que, même si les molécules naturelles sont identiques aux molécules synthétisées, un produit alimentaire est un mélange de substances différentes extrêmement nombreuses, et que sa richesse gustative et son intérêt en terme de santé tiennent souvent à des substances présentes en quantités infimes. Ces substances ultraminoritaires ne peuvent être ajoutées dans les produits de synthèse pour des raisons économiques de coût de fabrication³⁷.

La synthèse totale est d'ores et déjà appliquée dans l'industrie des parfums où l'on a entièrement remplacé les fleurs par des composés synthétiques³⁸, à l'exception d'un seul grand industriel qui récolte encore les fleurs à Grasse pour la fabrication d'un parfum. Cette industrie y a indiscutablement gagné en terme de reproductibilité des parfums fabriqués, de coût et de main-d'oeuvre.

Comme conclusion de cette partie du programme de chimie, ne pourrait-on pas dire "La chimie permet de comprendre ce qu'est un produit naturel et d'en synthétiser certains." plutôt que la phrase laconique "Tout est chimique."?

³⁶ En effet, l'usage de ceux-ci est validée par l'humanité depuis la nuit des temps :le risque sanitaire est donc faible, même si historiquement, certaines maladies ne pouvaient pas être détectées.

³⁷ De plus, pendant l'année où je préparais les concours de l'enseignement, ma formatrice en chimie m'a assuré que les solvants utilisés dans les extractions et les synthèses ne pouvaient pas totalement disparaître, et que leur concentration maximale dans les produits synthétisés était plafonnée par des normes européennes. Elle m'a aussi précisé que l'impact sur la santé de doses très faibles était inconnu à long terme, les études de santé correspondantes n'ayant jamais été effectuées.

³⁸ Dans un des sites de fabrication des parfums (il y en a très peu au monde), le directeur de l'équipe de recherche est un indien dont la philosophie est que les fleurs sont sacrées. La synthèse permet donc de les préserver. On ne peut qu'être admiratif du travail effectué par le directeur des ressources humaines en terme de recrutement.

III – Cette logique si démodée...

Au paragraphe III – 5, je préciserai davantage ce que je pense être le lien fondamental entre le fait naturel et sa négation d'une part et la logique d'autre part.

D'après ce qui précède, on peut voir déjà que la structure logique de la démarche scientifique est très complexe, et que seule une logique solide permet d'établir les liens entre ses différents éléments que sont les théories physiques, leur acceptation consensuelle, l'expérimentation, la modélisation et les faits naturels.

Suite à de nombreuses discussions avec des collègues, il s'avère que des éléments de logique sont enseignés selon le besoin, dans des disciplines telles que le français, les mathématiques, les sciences physiques, les sciences économiques ou l'histoire-géographie.

Il m'est apparu dans ces discussions que souvent, l'enseignant, excédé, a éprouvé le besoin de faire un point rapide pour préciser des notions de base qui n'étaient pas comprises.

J'ai personnellement suivi un cursus où des notions étaient présentes, à l'école primaire en CM2, et le souvenir que j'en ai est assez douloureux.

En effet, à cette période (1979), des reliquats de mathématiques modernes subsistaient encore dans l'enseignement : je me souviens encore avoir appris en CM2 ce qu'était une relation entre des ensembles et la notion d'injection, de surjection et de bijection!

A contrario, mon professeur de mathématiques de seconde s'était considérablement étendu sur la notion d'implication et d'équivalence³⁹, et ces cours m'ont alors énormément apporté.

Actuellement, le bulletin officiel du programme de mathématiques de première proscrit l'usage systématique des symboles associés à l'implication et à l'équivalence : lorsque les élèves font des calculs liés entre eux successivement, les équations sont simplement alignées les unes sous les autres.

J'ai de mon côté éprouvé le besoin de donner quelques rudiments de logique après avoir constaté des problèmes majeurs et généralisés à ce niveau tant dans les remplacements que j'ai effectués que dans la classe de seconde que j'ai en responsabilité.

Voici quelques problèmes rencontrés et les éléments de cours que j'ai donnés pour y remédier. Remarquons que j'ai eu de grandes difficultés à le préparer, n'ayant pas de formation dans ce domaine. En effet, la logique pose de subtils problèmes de fond qu'il est préférable de connaître pour faire un cours de base.

Sur les conseils d'un collègue enseignant en mathématiques, je me suis inspiré du livre "Logique sans peine" de Lewis Carroll^{vii}. De plus, des éléments de logique simple, appliqués par l'exemple et ludiques, sont très difficiles à trouver sur Internet.

³⁹ Deux propositions sont reliés par une implication de façon justifiée, lorsque la deuxième est toujours vraie quand la première est vraie. L'implication se lit "si ... alors ...".

Elles sont reliées par une équivalence lorsqu'elles sont vraies et fausses en même temps.

Elle se lit souvent "... si et seulement si".

Dans le cas d'une implication, on ne peut rien dire quand la seconde proposition est vraie, ni quand la première est fausse.

Exemple : Si mon ordinateur est en marche, c'est qu'il n'y a pas de coupure EDF. Si l'ordinateur est éteint, cela ne me dit pas s'il y a une coupure ou non. De même, s'il n'y a pas de coupure EDF, je ne peux rien dire sur l'état de mon ordinateur!

III – 1 Propositions universelles et existentielles

Un exemple typique de propositions universelles est la théorie atomique "Toute matière est faite d'atomes." ou le principe d'inertie "Tout mobile soumis à des forces qui se compensent a un mouvement rectiligne uniforme." ou encore "Tous les êtres vivants ont une reproduction basée sur l'ADN."

Les exemples sont extrêmement nombreux pour une raison simple : le but d'une théorie scientifique est de construire de telles propositions valides dans un contexte bien précis.

J'ai constaté à plusieurs reprises qu'un énoncé scientifique de ce type, contenant le mot "tous", ne provoquait ni réflexion ni intérêt particulier chez les élèves, et qu'il était considéré comme une information parmi d'autres.

Pour citer deux problèmes précis :

- dans mes copies de classe, un nombre important d'élèves (une bonne dizaine sur 32) placent un virus au-dessous d'un atome sur une échelle de taille.
- l'élève n'arrive pas à trouver le signe d'un terme complexe élevé au carré, après avoir vu la règle générale quelques minutes auparavant.

Voici des éléments de cours correspondant à ce problème. Le but de ce cours est d'être le moins formel possible, mais d'essayer une généralisation par l'exemple.

Les réponses que j'ai obtenues ici viennent d'élèves de seconde ou de première.

1.

Quelqu'un propose la théorie suivante : "Tous les chats sont gris". Cette théorie est manifestement fausse. Pourquoi? Comment feriez-vous pour le prouver?

La plupart des élèves arrivent à le justifier mais beaucoup d'élèves éprouvent le besoin d'amener (en pensée) un nombre important de chats de différentes couleurs.

Remarquons que lorsque je pose directement la question :

- Quel est le contraire de la phrase "Tous les chats sont gris." ?
j'obtiens parfois la réponse ambiguë "Tous les chats ne sont pas gris." et souvent "Tous les chats sont d'une couleur autre que le gris."

J'introduis alors la notion qu'il suffit d'"exhiber *un* contre-exemple", et l'idée que l'élève a parfaitement le droit de critiquer vertement le prétentieux auteur de la théorie, ce qui me semble tout aussi important.

2.

Quelqu'un propose la théorie suivante : "Il existe un chat vert."⁴⁰. Comment feriez-vous pour prouver qu'elle est fausse?

Les élèves n'ont pas d'idée particulière à ce sujet. Une réponse intéressante obtenue est "Je vérifie dans un livre."

Je précise alors que la seule façon de l'infirmier est effectivement de faire confiance à d'autres, mais que cela peut comporter des risques, ou alors de prendre une année sabbatique et de mettre un chapeau d'explorateur.

Les élèves énoncent que tant qu'on trouve pas un tel animal, cela ne prouve rien sur la théorie, et qu'il est difficile de prouver qu'elle est fausse.

Le résultat est généralisé au travers des notions de propositions universelles et existentielles, ainsi que les différentes façons de les prouver ou de les infirmer.

Des exemples similaires sont donnés avec des formulations du type "Aucun ...", "Certains ..." et des négations dans le verbe.

Les élèves constatent alors la grande différence de statut entre les propositions universelles et existentielles.

On cherche ensuite des informations dans la vie courante (media, etc.), on les classe selon leur type, et on cherche ce qu'il faudrait faire pour les prouver ou les infirmer.

3.

Je dis : "Je ne dis jamais la vérité." Traduire la phrase en utilisant le mot "tout" ou "tous". Que penser de cette phrase?

Les élèves arrivent assez facilement à la formulation "Tout ce que je dis est faux." et prennent conscience du paradoxe.

Le but de cet exemple, complexe, est de susciter l'intérêt et la motivation des élèves en leur montrant le plaisir associé à une certaine gymnastique logique.

III – 2 Syllogismes et sophismes

Je présente le sophisme suivant sans citer le mot "sophisme", ni "amalgame" qui en est la traduction plus moderne.

<i>JE SAIS QUE</i>	<i>Tous les chats sont mortels.</i>
<i>OR</i>	<i>Je suis mortel.</i>
<i>DONC</i>	<i>Je suis un chat.</i>

Question : les deux premières phrases sont vraies. Qu'est-ce qui ne va pas dans le raisonnement? Pourquoi ne peut-on pas dire "Je suis un chat."?

Aucun élève n'arrive à exprimer l'idée qu'il n'y a pas que les chats qui sont mortels, et que les humains le sont aussi par exemple.

⁴⁰ Il s'agit d'une proposition existentielle qu'on ne distingue pas en logique de la proposition "Certains chats sont verts".

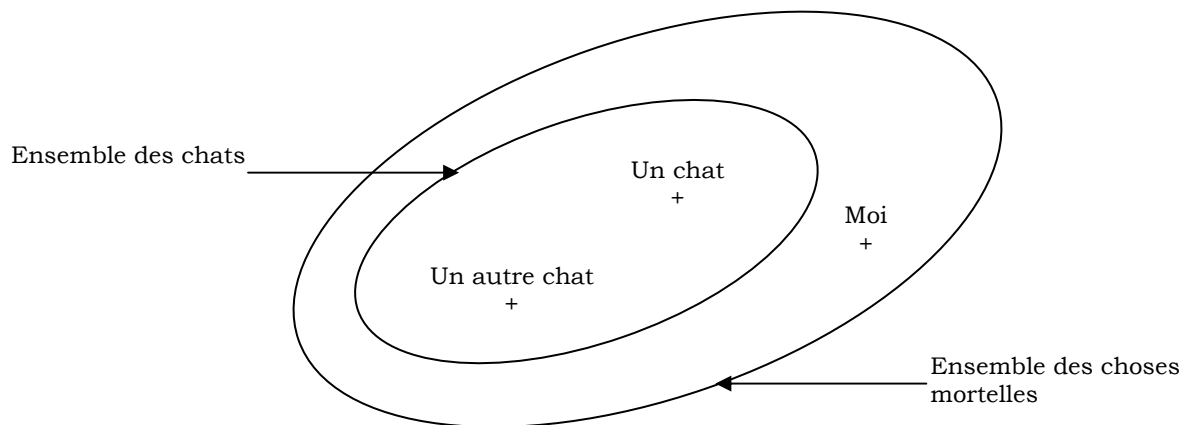
Mon tuteur de mémoire, Vincent Pagès, enseignant en histoire-géographie, a eu une expérience similaire, liée à ce problème.

En classe de troisième, il projette une séquence d'un film de propagande nazie, dans lequel est montrée une population juive d'un ghetto. Le film montre ensuite sans transition des rats vivant dans des ordures et courant en tous sens.

Aucune réaction des élèves : le sophisme, que je n'écrirai pas ici, n'est pas perçu par les élèves.

Dans le cours, j'introduis alors sans formalisme la notion d'ensemble et les diagrammes de Wenn (appelés également diagrammes patate) et demande aux élèves de placer les ensembles l'un par rapport à l'autre ainsi que les éléments comme des croix dans les ensembles.

Pourquoi ne suis-je pas un chat?



L'utilisation de ces diagrammes ne pose aucun problème aux élèves.

Il est extraordinaire qu'un outil mathématique aussi simple et aussi banal résolve en quelques coups de crayon tous les sophismes et les syllogismes, qui ont posé tant de problèmes dans l'Antiquité.

Malgré l'apparente simplicité de cette méthode de vérification, il est tout-à-fait clair que les sophismes n'ont aucunement disparu de notre vie quotidienne. Je pense qu'un rôle important de l'enseignant est de fournir des armes logiques de ce type au futur citoyen.

Je présente ensuite dans le cours quelques syllogismes moins classiques que le célèbre syllogisme impliquant Socrate⁴¹, que nous analysons grâce aux diagrammes de Wenn, certains dans le domaine de la physique:

⁴¹ Tous les Hommes sont mortels, or Socrate est un Homme, donc Socrate est mortel.

JE SAIS QUE

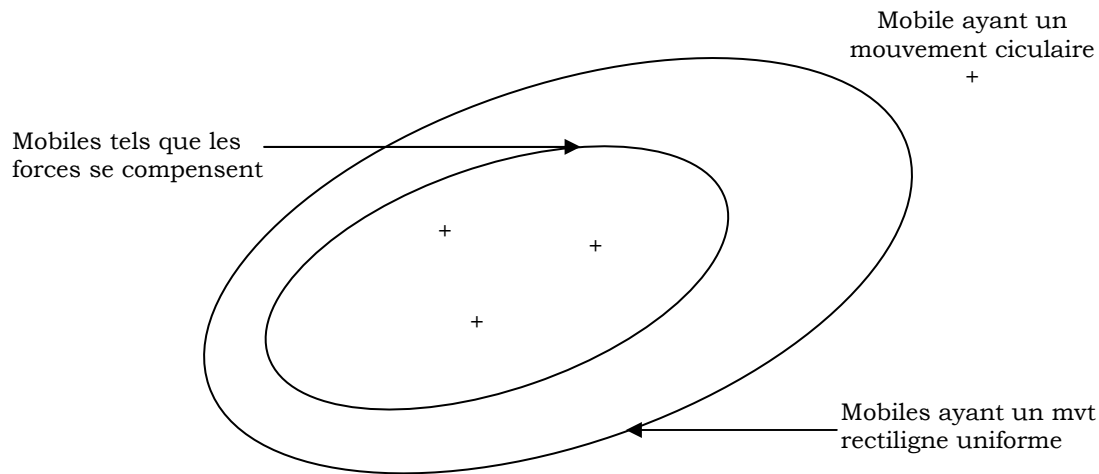
Tout mobile soumis à des forces qui se compensent est en mouvement rectiligne uniforme.

OR

Ce mobile a un mouvement circulaire.

DONC

Ce mobile subit une force qui n'est pas compensée.



III – 3 Propriétés de l'implication

On a vu qu'il y a beaucoup de faits naturels qui vérifient le principe de façon négative : la Lune a un mouvement circulaire autour de la Terre, donc elle subit des forces qui ne se compensent pas, dans ce cas, la force de gravitation terrestre.

Je n'ai pas encore expérimenté cela en cours, mais il me semble intéressant au moins d'évoquer la notion de contraposée, sans la nommer :

SI les forces se compensent, (*ALORS*) le mouvement est rectiligne uniforme est pareil que

SI le mouvement n'est pas rectiligne uniforme, (*ALORS*) les forces ne se compensent pas.

On peut aussi donner une analogie plus quotidienne :

SI je mange, (*C'EST QUE*) j'ai faim

SI je n'ai pas faim, (*ALORS*) je ne mange pas

les deux phrases signifiant toutes les deux que je suis raisonnable sur la nourriture et non pas boulimique.

On peut pousser plus loin en disant que le sens est très différent de

SI j'ai faim, (*ALORS*) je mange

SI je ne mange pas, (*C'EST QUE*) je n'ai pas faim

qui signifient que je mange quand j'en ai envie, et sous-entendent que je peux me le permettre parce que j'en ai les moyens financiers.

III – 4 Causalité et corrélation

Reprenons l'exemple cité par un de mes collègues, enseignant en sciences économiques :

Il y a un lien entre la taille moyenne des individus et leur niveau social (SES)

Cette affirmation signifie simplement que, statistiquement, il y a davantage d'individus de grande taille dans les milieux sociaux plus favorisés que la moyenne.

Elle ne donne aucun lien de causalité entre les deux phénomènes : être grand n'augmente pas nécessairement ses chances de progresser socialement.

Une explication est qu'il y a par contre un lien de causalité entre le fait d'appartenir à un milieu favorisé et celui d'avoir accès à une meilleure alimentation et de meilleurs soins dans son enfance. Cette bonne santé est, elle, en lien direct de causalité avec la taille moyenne des individus.

D'après ce collègue, c'est précisément le rôle des sciences sociales de trouver les explications, c'est-à-dire les liens de causalité qui sont susceptibles d'interpréter les corrélations observées grâce aux sondages.

Pour donner un exemple plus marquant, on sait que 90% des gens meurent allongés. Il est cependant clair que s'allonger ne constitue pas un risque médical important!

La notion ne paraît pas simple à enseigner au lycée, même si elle est importante pour le citoyen. Il ne semble cependant pas qu'on la rencontre beaucoup en sciences physiques.

III – 5 Logique et faits naturels

Il me semble donc indispensable de construire des bases de logique de rigoureuses chez les élèves, même s'ils les ont déjà vues en début de collège ou à l'Ecole Primaire. Si on prend la peine de le faire en début d'année, dans les tous premiers cours, il sera possible d'utiliser la logique comme un thème récurrent, par exemple, en soulignant systématiquement le mot "tous" dans les énoncés scientifiques que nous donnons (ou faisons deviner) en classe.

Il n'est peut-être pas nécessaire d'aller très loin, mais les notions de propositions universelles, la façon de les invalider et la maîtrise du syllogisme me semblent indispensables pour structurer les connaissances.

De plus, si l'on travaille un tant soit peu la logique et la déduction, on se rend vite compte qu'elle n'apporte aucune information nouvelle. Cela ne signifie pas que la travailler est inutile, car elle est de toute façon une compétence exigible, même si elle n'est pas indiquée comme telle dans les programmes. En effet, nous sanctionnons systématiquement les énoncés contradictoires dans les copies et privilégions ainsi les élèves qui ont l'esprit "naturellement" plus logique que les autres, ce qui me semble une injustice. Il me semble qu'un cours explicite et récurrent pourrait fournir à l'élève des méthodes simples et rassurantes de raisonnement.

Lorsqu'on prend conscience que le raisonnement logique est un peu vide, il me semble qu'alors, cela donne toute leur valeur aux faits naturels : ce sont les seuls éléments qui nous donnent vraiment du grain à moudre pour raisonner et élaborer des théories. On ne peut faire

de science qu'en tentant des affirmations plus ou moins péremptoires que l'on cherche ensuite à invalider.

Dans ma classe, il y a un certain nombre d'élèves motivés par l'intervention orale, mais qui n'ont pas le réflexe de chercher à invalider d'abord ce qu'ils énoncent. Dans ce cas, les propositions qu'ils énoncent en classe apparaissent souvent absurdes aux oreilles des autres, en ce sens qu'il y a des contre-exemples évidents. Du coup, ces élèves ont tendance à se décourager, prennent la réaction des autres comme une attaque personnelle, et interviennent de moins en moins.

Conclusion

Une des interprétations simples du phénomène de rejet des faits est que l'élève est choqué par le fait qui se produit : sa réaction marque simplement le conflit avec ce qu'il pense. Son point de vue est susceptible d'évoluer, notamment grâce à ce choc : en cela, le conflit semble plutôt positif.

Certes, la notion de fait est problématique tant en philosophie qu'en psychologie. Dans l'enseignement au lycée et au collège, il me paraît néanmoins possible de considérer que les faits (naturels en science, sociaux en économie...) sont bien une réalité. Les théories que nous enseignons doivent respecter ces faits : ne serait-ce qu'en sciences physiques, les théories sont validées sur la base du consensus des observations.

Le rejet de l'évidence par les élèves semble être un phénomène peu fréquent, mais je l'ai constaté une fois dans ma classe, et mes collègues en ont quelques exemples. Peut-être cette étude eût été plus riche en début de collège ou à l'Ecole Primaire?

Néanmoins, les élèves rejettent parfois les faits naturels d'une façon plus insidieuse. Elle consiste à ne pas prendre en compte l'importance primordiale des faits dans toute démarche scientifique : le fait est accepté dans un premier temps, lorsqu'il est sous les yeux de l'élève, mais oublié ensuite, et ses anciennes conceptions resurgissent.

La force des anciennes conceptions est une explication souvent exprimée et convaincante, mais cette étude montre que ce n'est pas la seule. Mon expérience en stage de responsabilité avec une classe de seconde qui s'est révélée très faible, m'a montré que le contre-exemple n'était pas considéré par la majorité des élèves comme la négation indiscutable d'une théorie : beaucoup d'élèves ont de grandes difficultés avec la logique.

Or, la structure logique de la démarche scientifique est très complexe. Le rôle précis joué par les faits, les théories, la modélisation et l'expérimentation est difficile à comprendre. Dans les classes faibles, pourrait-on mettre au premier plan d'importance les faits et les théories scientifiques, et au second plan, l'expérimentation et la modélisation présentées comme des techniques scientifiques?

Actuellement, les élèves montrent une désaffection importante pour les sciences, tant au lycée que dans le supérieur. Or, mes collègues trouvent leurs élèves de moins en moins logiques.

Pourquoi n'enseigne-t-on pas plus d'éléments de logique au collège et en début de lycée? cela ne serait-il pas profitable aux élèves dans toutes les disciplines scolaires ainsi que dans leur vie quotidienne?

Sans apporter de réponse définitive à un problème aigu, cette étude m'a éclairci sur différents aspects de la pratique scientifique et de son enseignement. Je me suis rendu compte de la grande difficulté didactique que représente la justification de la démarche scientifique en classe d'une part, et de la nécessité absolue de l'explicitation d'autre part.

Grâce à cette étude, j'ai pu également anticiper des difficultés didactiques importantes dans le programme de physique-chimie de la classe de seconde.

"Ce qui est, est, et ce qui n'est pas, n'est pas."

Clément Rosset.

Bibliographie

- i POPPER Karl, 1973, *La logique de la connaissance scientifique*, Paris, Payot.
- ii BARAQUIN Noëlla, BAUDART Anne, DUGUE Jean, LAFFITE Jacqueline, RIBES François et WILFERT Joël, 1995, *Dictionnaire de philosophie*, Paris, Armand Colin.
- iii WALI Kameshwar C., 1998, *Chandrasekhar, Une histoire de l'astrophysique*, Diderot Editeur.
- iv ADAMS Douglas, 1982, *Le guide du routard galactique*, Paris, Denoël, Présence du futur.
- v SERRES Michel, 1991, *Le Tiers Instruit*, Paris, François Bourin.
- vi SEN Amartya, 1999, *L'économie est une science morale*, Paris, La Découverte.
- vii CAROLL Lewis, 1996, *Logique sans peine*, Paris, Hermann.

Annexe

Ci-joints dans l'ordre :

- le questionnaire donné aux collègues;
- le tableau synoptique du dépouillement;
- les réponses classées par disciplines : sciences-physiques, mathématiques, sciences de la vie et de la Terre, histoire-géographie, sciences économiques et sociales.

De:
Pierre ANDREI,
stagiaire PLC2 en physique-chimie
économiques.
Lycée Montaury, Nîmes.
pierre.andrei@laposte.net

A:
Collègues de physique, de biologie,
d'histoire, de sciences

Chers collègues,

En tant que stagiaire, je suis en responsabilité d'une classe de seconde et je fais un mémoire professionnel dont le thème est :

"Accepter le verdict des faits est-il naturel chez les élèves ?"

Si ce thème vous intéresse, vous m'aidez beaucoup en remplissant ce petit questionnaire. Je pourrai, si vous le souhaitez, vous envoyer mon analyse de cette enquête si vous me communiquez vos coordonnées.
Le mémoire doit être rendu fin Mars, donc vos réponses me seront utiles jusqu'au début du mois de Mars.

Bien cordialement.
P.A.

Présentation:

Le pré-requis de toute démarche scientifique est d'accepter les faits naturels ou sociaux en toute honnêteté : c'est à cette seule condition qu'on peut remettre en cause ses conceptions et apprendre. On constate en sciences physiques qu'un fait naturel (résultat expérimental) contraire aux conceptions des élèves est bien perçu sur le moment, voire agréablement, et paraît assimilé, mais qu'il se produit souvent une régression vers les conceptions anciennes au bout de quelques temps.

Dans la société, on peut trouver des positions plus ou moins conscientes telles que "Pourquoi ce que je pense aurait moins de valeur que les faits?" ou "Les faits m'intéressent quand ils sont rassurants ou utiles, sinon, je les nie.". Ces attitudes doivent certainement exister chez les élèves.

- Votre nom et votre discipline :
- Votre lycée et votre ville :
- Dans votre discipline, quels sont les faits enseignés les plus difficiles à accepter pour les élèves ? de quel ordre sont ces difficultés ?

- Pouvez-vous me décrire un exemple d'attitude de refus conscient d'un fait établi chez des élèves ? quelles sont d'après vous les causes d'une telle attitude ?

- Avez-vous constaté un refus de la méthode scientifique en tant que telle ? est-il argumenté ?

- Êtes-vous confronté à la mauvaise foi ? si oui, comment la gérez-vous ?

-
- Quels seraient d'après vous de bons outils pour détecter ces attitudes ?

 - Commentaire libre au dos (pertinence, enseigner la logique au lycée?, votre point de vue personnel...)

DÉPOUILLEMENT DU QUESTIONNAIRE

N° de Doc	Matière	Lycée Collège	Situation géographique	Types de faits rejetés			
				Fait brut	Résultats d'études statistiques fiables	Faits liés à des théories avérées	
1	Physique Chimie	C	Quissac (30)	Tension aux bornes d'1 interrupteur.			Blocage d intuitive.
2	Physique Chimie	L					Pas de rej profond de l'enseigne
3	Physique Chimie	L	Nîmes (30) Montaury	Synthèse additive des couleurs.		Principe d'inertie. L'interaction gravitationnelle.	
4	Physique Chimie	L	Pontivy	Le même mouvement de chute libre pour tout corps.		Force centripète dans un mouvement circulaire.	Les élèves croix sur u alignées. F d'une déco
5	Physique Chimie	L/C	Brest (29)				Pas de rej de cherche
6	Physique Chimie	L	Antibes (06) Mt St Jean	Le même mouvement de chute libre pour tout corps.			Les élèves méthode s introduire de certitud
7	Mathématiques	L	Milhaud (30) de Gaulle				Toutes les admettre. Il manque
8	Mathématiques	L	Nîmes (30) Montaury				La mise de relèverait d enseignem
9	Mathématiques	C	Quissac (30)	Distinction entre dessin et figure.		Multiplier grandit le nombre.	Les élèves véracité de rigueur da
10	Sciences de la vie & de la terre	L	Nîmes (30) Montaury			Tous les faits de l'ordre des connaissances théoriques.	Croyance l'évolution.
11	Sciences de la vie & de la terre	C	Quissac (30)	Les plantes sont aussi des êtres vivants. La respiration du steak.			Une viande un être viv
12	Sciences de la vie & de la terre	C	Quissac (30)			Géologie, structure de la terre. Théorie de l'évolution.	Faire pren peuvent co mais essa
13	Histoire Géographie	C	Quissac (30)			Les races n'existent pas dans l'espèce humaine.	Des idées ancrées d autant rem professeur
14	Histoire Géographie	L	Nîmes (30) Montaury	L'existence de Jésus. Le changement d'échelles des cartes.		Notion de pays du Nord/développés & du Sud/pauvres.	Problème religieux. perception
15	Histoire Géographie	L	Nîmes (30) Montaury			Théorie de l'évolution.	La religion compréh Manque d
16	Histoire Géographie	L	Nîmes (30) Montaury		L'Algérie qui est pauvre, possède des richesses. Les habitants de pays pauvres ont une forte fécondité.		Les propo difficultés. idéologiqu

17	Sciences économiques et sociales	L	Nîmes (30) Montauray	L'état paierait les smicards. Les immigrés seraient tous des chomeurs et des délinquants.	Le progrès technique détruirait l'emploi.		Les faits re majoritaire souvent à
18	Sciences économiques et sociales	L	Nîmes (30) Montauray		Les femmes sont plus nombreuses à être secrétaires, car elles seraient plus soignées.		C'est souv problème. sexuels
19	Sciences économiques et sociales	C	Nîmes (30) Fauchères			La dévaluation monétaires. Tous mecanismes qui font appelle à l'abstraction.	Reconnâit connaître